

杨家大, 彭 舒. 贵州地方山羊品种肌肉生长抑制素基因的表达差异[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(2): 369-375.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.02.023

贵州地方山羊品种肌肉生长抑制素基因的表达差异

杨家大, 彭 舒

(凯里学院环境与生命科学学院, 贵州 凯里 556011)

摘要: 为了解贵州地方山羊肌肉生长抑制素基因(*Myostatin*)的表达部位及组织分布模式,比较各组织中 *Myostatin* 基因表达的品种间差异,以 β -actin 作为内参基因,应用 TaqMan 实时荧光定量方法检测了黔东南小香羊、贵州白山羊、贵州黑山羊、黔北麻羊等贵州地方山羊品种以及南江黄羊的肝、肾、心、肺、背最长肌、半膜肌、皮下脂肪组织中 *Myostatin* 基因 mRNA 的表达水平。结果显示:肝和皮下脂肪中 *Myostatin* 基因的表达水平较高,肾和肺次之,半膜肌、背最长肌和心等肌肉组织中的表达水平相对较低;而半膜肌和背最长肌中 *Myostatin* 基因的表达水平高于心肌。肝和皮下脂肪 *Myostatin* 基因的表达在各品种间差异不显著;心、肺、肾、背最长肌和半膜肌中 *Myostatin* 基因的表达,贵州白山羊显著高于黔东南小香羊和黔北麻羊;肺、背最长肌和半膜肌中, *Myostatin* 基因的表达贵州白山羊显著高于贵州黑山羊和南江黄羊。可见,贵州地方山羊心、肝、肺、肾、背最长肌、半膜肌和皮下脂肪中均有 *Myostatin* 基因表达,其组织表达水平总体为肝和皮下脂肪>肾和肺>半膜肌、背最长肌和心(肌),且多数组织中 *Myostatin* 基因的表达存在品种差异。

关键词: 肌肉生长抑制素; 实时荧光定量; 贵州地方山羊; 基因表达

中图分类号: S827 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)02-0369-07

Differential expression of *myostatin* gene in Guizhou landrace goat

YANG Jia-da, PENG Shu

(College of Environmental and Life Sciences, Kaili University, Kaili 556011, China)

Abstract: In order to figure out the locations and tissue expression patterns of *myostatin* gene in Guizhou landrace goats, and the varietal expression difference, the expression levels of *myostatin* mRNA in the liver, kidney, heart, lung, longissimus muscle, semimembranosus muscle and subcutaneous fat of Qiongzongnan small Xiang goats, Guizhou white goats, Guizhou black goats, Qianbei Ma goats and Nanjiang yellow goats, were detected by real time fluorescence quantitative TaqMan method and normalized by internal β -actin. The liver and subcutaneous fat exhibited the the highest level of *myo-*

statin mRNA expression, followed by kidney and lung, semimembranosus muscle, longissimus muscle and heart (myocardium) were the lowest. The expression levels in semimembranosus muscle and longissimus muscle were higher than that in liver (myocardium). The *myostatin* mRNA level in livers and subcutaneous fat showed no difference among breeds. The gene expression level in the hearts, lungs, kidneys, longissimus muscle and semimembranosus muscle of Guizhou white goat were significantly

收稿日期: 2015-02-05

基金项目: 凯里学院规划课题(Z1304); 凯里学院获得博士学位(引进教授) 教师专项(BS201303); 贵州省科技联合基金项目 [黔科合 J 字 LKK(2013)14 号]; 贵州省普通本科高校自然科学研究项目 [黔教合 KY 字(2014)236]; 国家自然科学基金项目(81460572)

作者简介: 杨家大(1975-), 男, 贵州天柱人, 博士, 副教授, 主要从事动物分子遗传学研究。(Tel) 0855-8511625; (E-mail) yangjiada2@163.com

higher than those in Qiandongnan small Xiang goat and Qianbei Ma goat. Guizhou white goat also presented higher levels of myostatin mRNA in the lungs, longissimus muscle and semimembranosus muscle than Guizhou black goat and Nanjiang yellow goat. The results suggested that *myostatin* gene were expressed in all the tested tissues and organs of Guizhou landrace goats, the level being listed in the order of subcutaneous fat>kidney and lung>semimembranosus muscle, longissimus muscle and heart (myocardium). For most tissues, there were differential expressions among breeds.

Key words: *myostatin*; real-time fluorescence quantitation; Guizhou landrace goat; gene expression

肌肉生长抑制素(MSTN),又称转化生长因子8(Growth differentiation factor 8, GDF-8),是一类分子量为 2.5×10^4 的糖蛋白^[1],对肌肉生长发育具有负调控作用,与肌肉量的增长^[2-4]和脂肪沉积^[5-6]有关。肌肉生长抑制素基因 *Myostatin* 的突变、插入和缺失等不仅能阻断 MSTN 对肌细胞增殖的抑制作用,引起广泛的肌肉增长,产肉率增加,而且还能降低脂肪的沉积^[7-10]。因此,*Myostatin* 基因被视为肌肉发育及其相关性状的候选基因^[11-12],在畜牧生产、动物遗传育种等方面具有重要的潜在应用价值,研究 *Myostatin* 基因的表达规律,对控制畜禽肌肉增长、改善肌肉品质具有重要意义。贵州地方山羊品种丰富,有贵州白山羊、贵州黑山羊、黔北麻羊和黔东南小香羊等。这些品种具有可常年放牧、适应性强、繁殖力高、育肥性能好、肉质细嫩、板皮质优等特点^[13]。石照应等^[14]克隆了贵州黑山羊的 *Myostatin* 基因,该基因编码区全长 1 128 bp,编码 375 个氨基酸。朱红刚等^[15-16]分析了贵州香羊 *Myostatin* 基因的多态性。本研究拟应用实时荧光定量 RT-PCR 方法检测贵州地方山羊品种以及南江黄羊肝、肾、心、肺、背最长肌、半膜肌和皮下脂肪中 *Myostatin* 基因的表达,确定各品种的表达部位及组织表达模式,比较各组织的品种表达差异,为揭示山羊肉质性状形成的分子生物学机制、研究 *Myostatin* 基因与贵州地方山羊产肉性能和肉质性状的关系提供参考依据,最终为贵州地方山羊品种肉质性状的选育提供分子生物学基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料

黔东南小香羊、贵州白山羊、贵州黑山羊、黔北麻羊和南江黄羊各 4 只,雌雄各 2 只,5~7 月龄,体质量 14~17 kg,购买自贵州省雷公山山区养羊户。将山羊放血处死后迅速提取心、肝、肺、肾、背最长肌、半膜肌和皮下脂肪,用锡箔纸包裹后投入液氮中。

1.2 方法

1.2.1 总 RNA 的提取 采用 Trizol (Invitrogen 公司产品)提取总 RNA。在 50 mg 冻存组织中加入 1 ml Trizol 溶液,匀浆,裂解 5 min;加入 200 μ l 氯仿,剧烈振荡混匀,静置 2 min;4 $^{\circ}$ C 12 000 r/min 离心 15 min,取上清;加入等体积的异丙醇,轻柔混匀,静置 10 min;4 $^{\circ}$ C 12 000 r/min 离心 10 min,收集 RNA 沉淀;用 75% 乙醇洗涤 2 次,在超净工作台内风干;加入 15~60 μ l RNase-free H_2O 溶解沉淀。

1.2.2 逆转录反应 逆转录反应采用 TOYOBO ReverTra Ace qPCR RT Kit 进行,总体积 20 μ l。取 0.1~2.0 μ g 总 RNA,加 RNase-free H_2O 至 14 μ l,混匀,置于 65 $^{\circ}$ C 变性 5 min,冷却。再加 5 \times RT buffer 4 μ l、Enzyme mix 1 μ l、RT primer 1 μ l,42 $^{\circ}$ C 逆转录 18 min,98 $^{\circ}$ C 灭活逆转录酶 5 min,-20 $^{\circ}$ C 保存备用。

1.2.3 定量标准品的制备 根据山羊 *Myostatin* 及 β -actin 基因 mRNA 序列采用软件 Beacon Designer 7.9 设计 PCR 引物,由上海捷瑞生物工程有限公司合成。引物序列的相关信息见表 1。PCR 反应采用 GeneSolution 2 \times Taq Master Mix 试剂盒(上海硕盟生物科技有限公司产品)进行,总体积 20.0 μ l。其中,RNase-free H_2O 7.2 μ l、2 \times Taq master mix 10.0 μ l、上下游引物(10 μ mol/L)各 0.4 μ l、cDNA 模板 2.0 μ l。扩增程序:94 $^{\circ}$ C 预变性 90 s;94 $^{\circ}$ C 变性 30 s,60 $^{\circ}$ C 退火 30 s,72 $^{\circ}$ C 延伸 60 s,40 个循环;72 $^{\circ}$ C 延伸 5 min。PCR 产物经琼脂糖凝胶回收试剂盒[天根生化科技(北京)有限公司产品]回收纯化后,按照文献[17]的方法计算目的基因的拷贝数浓度,再按 4 倍倍比稀释 5 次,得到 *Myostatin* 基因拷贝数浓度分别为 1 μ l 1.02×10^{10} 拷贝、 2.56×10^9 拷贝、 6.40×10^8 拷贝、 1.60×10^8 拷贝、 4.00×10^7 拷贝、 9.99×10^6 拷贝的定量标准品,以及 β -actin 基因拷贝数浓度分别为 1 μ l 3.53×10^7 拷贝、 8.82×10^6 拷贝、 2.21×10^6 拷贝、 5.51×10^5 拷贝、 1.38×10^5 拷贝、 3.45×10^4 拷贝的定量标准品。

表1 制备 *Myostatin* 和 β -*actin* 基因定量标准的引物信息

Table 1 Primer information for preparing the quantitative standards of *myostatin* and β -*actin* genes

基因名称	引物序列(5'→3')	NCBI 登录号	退火温度 (°C)	产物大小 (bp)
<i>Myostatin</i>	AATGAGAACAGCGAGCAGAAGG	NM_001285737.1	60	1 051
	ACCCACAGCGATCTACTACCAT			
β - <i>actin</i>	AGAAGAAATTGCCGCCCTC	XM_005694067.1	60	992
	AGCATTTGCCGTGGACAA			

1.2.4 实时荧光定量反应 山羊 *Myostatin* 及 β -*actin* 基因实时荧光定量采用 TaqMan 探针法,引物及探针由上海捷瑞生物工程有限公司合成,序列相关信息见表2。反应在 FTC-3000 实时荧光定量 PCR 系统 (Funglyn Biotech, INC, Canada) 上进行,体积为 20.0 μ l。其中含 2 \times Realtime PCR Master Mix 10.0 μ l, 10

μ mol/L 的上下游引物各 0.8 μ l, 10 μ mol/L 的 TaqMan 探针 0.4 μ l, RNase-free H₂O 6.0 μ l, cDNA 模板 2.0 μ l。扩增程序:95 °C 预变性 10 min;95 °C 变性 15 s, 61 °C 退火及延伸 60 s, 40 个循环。设置空白对照及连续梯度标准品对照。每个反应重复 3 次。

表2 山羊 *Myostatin* 和 β -*actin* 基因实时荧光定量的引物及探针信息

Table 2 Primer and probe information for real time fluorescent quantitative PCR of *myostatin* and β -*actin* genes in goats

基因名称	NCBI 登录号	序列类型	序列(5'→3')	退火温度 (°C)	产物大小 (bp)
<i>Myostatin</i>	NM_001285737.1	上游引物	CGCCTGGAACAGCTCCTAAC	61	154
		下游引物	CCGTCGTAACGTGGTAGTCATC		
		Taq Man 探针	TCTTCCAAGGAGCCGTCGCTGCTGTCA		
β - <i>actin</i>	XM_005694067.1	上游引物	TGTGCGTGACATCAAGGAGAAG	61	177
		下游引物	AGGAAGGACGGCTGGAAGAG		
		Taq Man 探针	TGGCTACTGCTGCGTCGTCCTCCTCCT		

1.3 统计分析

根据定量标准品拷贝数的对数(以 4 为底)与对应的 *Ct* 值作图,得到定量标准曲线及回归方程。再根据回归方程与各检测样品的平均 *Ct* 值计算检测样品的拷贝数。个体 *Myostatin* 基因的表达水平以 *Myostatin* 基因的拷贝数与 β -*actin* 基因的拷贝数之比表示。*Myostatin* 基因的平均表达水平以 4 个个体表达水平的平均值表示。同一品种内不同组织之间、以及不同品种之间 *Myostatin* 基因表达水平的差异显著性检验采用 IBM SPSS Statistics 19 软件中的单因素方差分析进行。

2 结果与分析

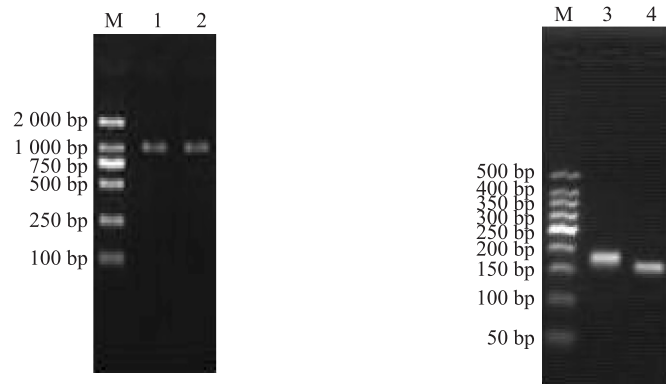
2.1 标准品及 Taq Man PCR 产物的检测结果

贵州地方山羊等 5 个品种山羊 *Myostatin* 和 β -

actin 基因的定量标准品电泳结果以及 Taq Man 扩增产物的电泳结果见图 1。由图 1 可知,*Myostatin*、 β -*actin* 基因定量标准品以及 Taq Man 扩增结果与预期目的片段相符。

2.2 标准曲线及扩增曲线

贵州地方山羊等 5 个品种山羊 *Myostatin* 基因 Taq Man 定量的标准曲线及扩增曲线见图 2, β -*actin* 基因 Taq Man 定量的标准曲线及扩增曲线见图 3。由图 2、图 3 可知,*Myostatin* 和 β -*actin* 基因 Taq Man 扩增的标准曲线回归方程分别为 $Y = -0.4183x + 26.2560$ 和 $Y = -0.3710x + 17.1090$, 数据变化与标准曲线之间的拟合度 (R^2) 分别为 0.9921 和 0.9967, 标准曲线线性关系良好; Taq Man 定量的扩增曲线呈“S”型, 线形光滑, 扩增过程有指数期和平台期。



M: DNA marker; 1: *Myostatin* 基因; 2: β -actin 基因; 3: β -actin 基因; 4: *Myostatin* 基因。

图1 *Myostatin* 和 β -actin 基因的标准品扩增产物(左)以及 Taq Man 定量扩增产物(右)的电泳图谱

Fig.1 Electropherogram of standard PCR products (left) and Taq Man PCR products (right) of *myostatin* and β -actin gene

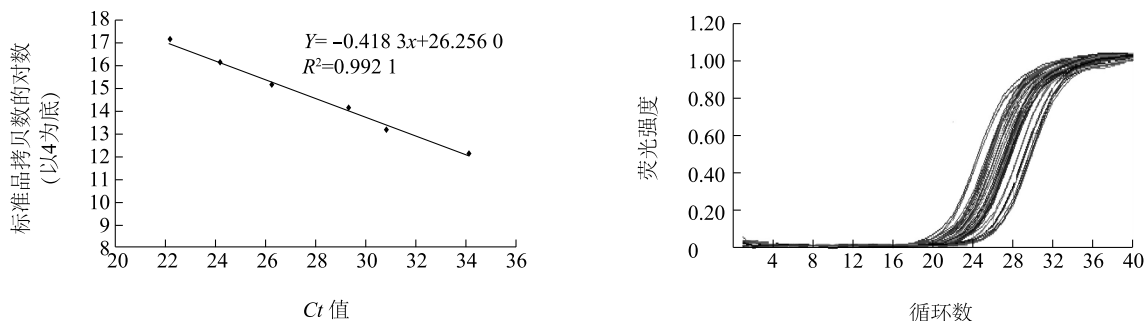


图2 *Myostatin* 基因 Taq Man 定量的标准曲线(左)及扩增曲线(右)

Fig.2 Standard curve(left) and amplification curve(right) of *myostatin* by Taq Man quantification

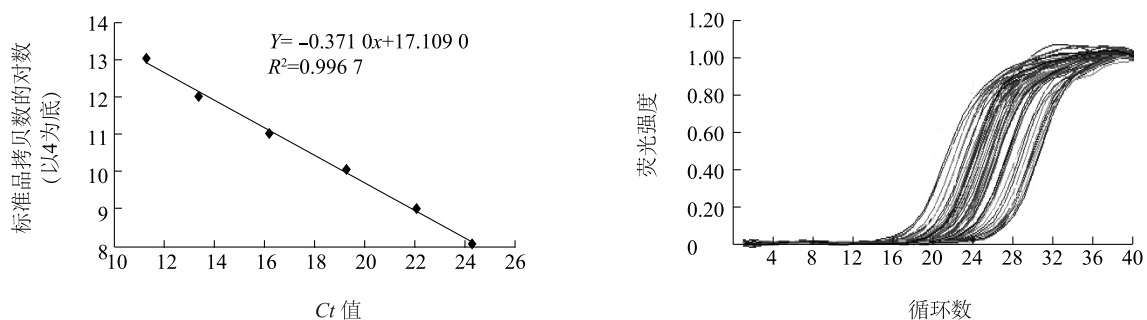


图3 β -actin 基因 Taq Man 定量的标准曲线(左)及扩增曲线(右)

Fig.3 Standard curve(left) and amplification curve(right) of β -actin by Taq Man quantification

2.3 *Myostatin* 基因的表达水平

贵州地方山羊等 5 个品种山羊肝、肾、心、肺、背最长肌、半膜肌和皮下脂肪组织中 *Myostatin* 基因的平均表达水平见表 3。从表 3 可以看出,同一品种不同组织器官中 *Myostatin* 基因的表达水平存在差异。

黔东南小香羊 *Myostatin* 基因的表达水平以肝内最高,显著高于心、肺、肾、背最长肌和半膜肌;皮下脂肪次之,显著高于心、肺、背最长肌和半膜肌;心、肺、肾、背最长肌和半膜肌两两间差异不显著;表达模式为:肝>皮下脂肪>肾>背最长肌>心>半膜肌>肺。贵州白

山羊以肺中最高,显著高于心、背最长肌和半膜肌;肾次之,显著高于心和背最长肌;心、肝、背最长肌、半膜肌和皮下脂肪两两之间差异不显著;表达模式为:肺>肾>皮下脂肪>肝>半膜肌>背最长肌>心。贵州黑山羊以肾内最高,显著高于心、肺、背最长肌和半膜肌;皮下脂肪次之,显著高于心、背最长肌和半膜肌;心、肝、肺、背最长肌、半膜肌两两之间差异不显著;表达

模式为:肾>皮下脂肪>肝>肺>半膜肌>心>背最长肌。黔北麻羊以肝和皮下脂肪最高,显著高于其余组织;其余组织两两之间差异不显著;表达模式为:肝>皮下脂肪>肺>肾>背最长肌>半膜肌>心。南江黄羊以肾和肝最高,显著高于心、背最长肌和半膜肌;而其余组织两两之间差异不显著;表达模式为:肾>肝>肺>皮下脂肪>半膜肌>心>背最长肌。

表 3 5 个山羊品种 *Myostatin* 基因的表达水平

Table 3 Expression Levels of *myostatin* gene in 5 goat breeds

品 种	<i>Myostatin</i> 基因表达水平 ¹⁾						
	心	肝	肺	肾	背最长肌	半膜肌	皮下脂肪
黔东南小香羊	13 084±5 315cB	148 686±83 349aA	5 609±4 983cB	49 405±31 762bcB	19 581±11 479cB	8 188±3 578cC	106 065±72 650abA
贵州白山羊	47 666±42 518cA	107 859±56 536acA	161 929±83 836aA	124 756±37 144abA	56 682±26 750cA	61 579±9 976bcA	109 867±19 542acA
贵州黑山羊	13 489±7 482cAB	44 246±38 754acA	27 981±23 859bcB	70 258±48 745aAB	12 919±5 259cB	14 608±3 530cC	56 385±16 106abA
黔北麻羊	13 361±7 467bB	144 607±80 205aA	44 728±35 009bB	41 344±12 516bB	22 693±12 614bB	19 824±9 732bBC	134 135±88 321aA
南江黄羊	28 299±20 745bAB	92 610±63 548aA	65 342±39 712abB	109 237±68 209aAB	22 318±1 588bB	32 010±11 165bB	60 654±32 766abA

同行不同小写字母表示组织间差异显著 ($P<0.05$), 同列不同大写字母表示品种间差异显著 ($P<0.05$)。¹⁾ 以 *Myostatin* 基因拷贝数与 β -actin 基因拷贝数之比表示。

从表 3 还可以看出,同一组织器官中 *Myostatin* 基因表达水平存在品种差异。心内 *Myostatin* 基因表达水平以贵州白山羊最高,显著高于黔东南小香羊和黔北麻羊;黔东南小香羊、贵州黑山羊、黔北麻羊和南江黄羊两两之间差异不显著。肝内 *Myostatin* 基因的表达水平在 5 个品种之间均无显著差异。肺中以贵州白山羊最高,显著高于其余品种;其余品种相互之间差异不显著。肾内以贵州白山羊最高,显著高于黔东南小香羊和黔北麻羊;黔东南小香羊、贵州黑山羊、黔北麻羊和南江黄羊两两之间差异不显著。背最长肌中以贵州白山羊最高,显著高于其余品种;其余品种两两之间差异不显著。半膜肌中以贵州白山羊最高,显著高于其余品种;南江黄羊次之,显著高于黔东南小香羊和贵州黑山羊;黔东南小香羊、贵州黑山羊和黔北麻羊彼此之间差异不显著。皮下脂肪中 *Myostatin* 基因的表达水平在 5 个品种之间均无显著差异。

3 讨 论

Myostatin 基因并非在动物的所有组织中都能表达^[18]。但本研究中,黔东南小香羊、贵州白山羊、贵州黑山羊、黔北麻羊和南江黄羊心、肝、肺、肾、背最长肌、半膜肌、皮下脂肪中都有 *Myostatin* 基因表达,

而且表达水平还很高,与现有资料有相似也有区别。Ji 等^[19]对猪的研究以及潘英树等^[20]对鹅的研究结果均表明,*Myostatin* 基因在心脏、肝脏、肺脏、肾脏、骨骼肌、皮下脂肪等组织器官都有表达。胡兰等^[21]对鸡的研究结果表明,*Myostatin* 基因在骨骼肌、心肌、肾脏等组织器官中有表达,但在肺脏和肝脏中未检测到 *Myostatin* 基因表达。张锐等^[22]对猪的研究结果表明,*Myostatin* 基因仅在骨骼肌和心肌组织中表达,在肝、肾、肺、脂肪组织等无表达。梁婧娴等^[23]对绵羊的研究结果表明,*Myostatin* 基因在腿肌中表达,而在其他组织中几乎不表达。Kubota 等^[24]对鸡胚的研究结果表明,*Myostatin* 基因在心脏、肾、骨骼肌中有表达,但是肝脏中没有表达。尹阔等^[18]对绵羊的研究结果表明,*Myostatin* 基因在卡拉库尔的肝脏、肾脏和腿肌等器官组织中有表达,在心脏和肺脏中无表达;在和田羊的心脏、肾脏和腿肌等器官组织中有表达,在肝脏和肺脏中无表达。由此可见,不同物种甚至同一物种的不同品种 *Myostatin* 基因 mRNA 所分布的组织也可能不同,说明 *Myostatin* 基因对机体的作用应该不仅局限于已知的肌细胞分化增生、脂肪沉积等,而应该有多方面的作用,本研究结果为揭示山羊 *Myostatin* 基因更多生理功能奠定了基础。尹阔等^[18]认为,*Myostatin* 基因除抑制骨

骨骼生成外,对维持机体正常的生理平衡有重要作用,还可能参与脂类代谢、糖代谢、呼吸、泌尿、免疫以及细胞类型和器官系统分化。

贵州地方山羊 *Myostatin* 基因的组织表达模式不同,具体表现在表达水平高低的组织排序不同以及组织之间的差异显著性程度不一样。总体来说,肝和皮下脂肪中 *Myostatin* 基因的表达水平更高,肾以及肺次之,半膜肌、背最长肌和心(肌)等肌肉组织中的表达水平相对较低;肌肉组织中半膜肌和背最长肌的表达水平高于心肌。本研究结果与唐大运等^[25]的报道一致,他们认为 *Myostatin* 基因在肌肉组织中的表达量较低。Ji 等^[19]对猪的研究结果、Jeanplong 等^[26]对牛的研究结果、胡兰等^[27]以及王娜等^[28]对鸡的研究结果均表明,*Myostatin* 基因主要在骨骼肌中表达,在心脏中仅有少量的分布或表达量显著低于骨骼肌,本研究结果与此相似;但他们同时还认为,脂肪组织、肺脏、肾脏、肝脏等器官中 *Myostatin* 基因仅有少量的表达甚至不表达,与本研究结果完全不同。尹阔^[18]等对绵羊的研究结果也表明,肌肉中 *Myostatin* 基因的表达量高于肾脏,也与本研究结果不一致。导致 *Myostatin* 基因的组织表达模式差异的原因可能与物种或品种不同有关。

mRNA 转录作为基因表达的重要环节,直接提供了蛋白质合成的模板,转录水平的高低对蛋白质含量起着决定作用。诸多研究表明,*Myostatin* mRNA 水平与 MSTN 蛋白质含量呈正相关。例如,Lenk 等^[29]对慢性心力衰竭晚期患者与健康人群 *Myostatin* 基因表达的研究结果显示,与健康人相比,慢性心力衰竭患者骨骼肌中 *Myostatin* mRNA 增加 2 倍($P=0.05$),MSTN 含量增加 1.7 倍($P=0.01$)。在慢性心力衰竭晚期,运动训练可使 *Myostatin* mRNA 降低 36%,MSTN 含量减少 23%。Das 等^[30]在研究腺苷酸活化蛋白激酶(AMP-activated protein kinase, AMPK)对肌肉生长的负调控作用机制时发现,AMPK 的激活剂 5-氨基咪唑-4-甲酰胺-核苷酸可显著增加 C2C12 肌管中 *Myostatin* mRNA 表达和 MSTN 含量,成肌细胞中 *Myostatin* mRNA 水平和 MSTN 含量也有小幅增加;AMPK 的另一个激活剂二甲双胍,也在较低程度上刺激 *Myostatin* mRNA 和 MSTN 的表达。Gruson 等^[31]在研究尾加压素 II(Urotensin II, UII)和尿皮质素(Urocortin, UCN)对原代培养成年大鼠心肌细胞 *Myostatin* 表达的影响时发现,UII

和 UCN 处理 48 h,可使 *Myostatin* mRNA 表达水平增加 2 倍,蛋白含量增多,细胞增大。因此,贵州地方山羊 *Myostatin* 基因的组织表达模式可以在一定程度上反映各组织部位间 MSTN 的分布情况,结合该蛋白质的生物学功能,可以初步推断各组织器官肌肉增长、细胞分化和脂肪沉积的能力。

研究结果表明,除肝和皮下脂肪组织以外,心、肺、肾、背最长肌、半膜肌中 *Myostatin* 基因的表达均存在品种差异,主要表现为贵州白山羊显著高于黔东南小香羊和黔北麻羊,在肺、背最长肌和半膜肌中还显著高于贵州黑山羊和南江黄羊。尹阔等^[18]对南疆绵羊 *Myostatin* 基因组织表达的研究结果表明,心脏以及肝脏中 *Myostatin* 基因的表达在和田羊与卡拉库尔羊之间存在差异。龙定彪等^[32]对猪 *Myostatin* 基因表达的研究结果表明,相同体质量条件下长撒猪(长白×撒坝猪)背最长肌中 *Myostatin* 基因的表达显著高于汉普夏猪,甚至在 20 kg 时达到极显著水平。杨晓静等^[33]对猪 *Myostatin* 基因表达的研究结果表明,在 20 日龄时大白猪公猪 *Myostatin* mRNA 表达水平显著高于相同日龄的二花脸公猪。邝良德等^[34]对兔 *Myostatin* 基因表达的研究结果表明,84 日龄时齐卡巨型白兔背最长肌 *Myostatin* 基因的表达量极显著低于加利福尼亚兔。根据 MSTN 在肌肉生长和脂肪沉积中的作用,贵州地方山羊等 5 个品种肾、心、肺、背最长肌、半膜肌中 *Myostatin* 基因表达的差异是否与瘦肉率有关还需进一步研究核实。

总之,本研究明确了黔东南小香羊、贵州白山羊、贵州黑山羊、黔北麻羊和南江黄羊肝、肾、心、肺、背最长肌、半膜肌和皮下脂肪中 *Myostatin* 基因的组织分布模式和品种间差异表达信息,为探讨贵州地方山羊肉质性状的形成、深入研究产肉性能与 *Myostatin* 基因的关系,以及为贵州地方山羊肉质性状的品种选育都奠定了基础。

参考文献:

- [1] 孙伟,王鹏,丁家桐,等. 湖羊 *Myostatin* 和 *Myogenin* 基因表达的发育性变化及与屠宰性状的关联分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(24):5129-5136.
- [2] 唐大运,朱化彬,吴健敏,等. *Myostatin* 基因沉默绵羊成纤维细胞系的建立[J]. 畜牧兽医学报, 2011, 42(10):1368-1373.
- [3] GAY S, JUBLANC E, BONNIEU A, et al. *Myostatin* deficiency is associated with an increase in number of total axons and motor

- axons innervating mouse tibialis anterior muscle [J]. *Muscle & Nerve*, 2012, 45 (5):698-704.
- [4] 孟详人,郭 军,赵倩君,等. 11 个绵羊品种 *MSTN* 基因非翻译区的变异[J]. *遗传*, 2008, 30 (12):1585-1590.
- [5] 贺三刚,陈 蕊,刘晨曦,等. 绵羊 *MSTN* 基因启动子区 SNPs 分析[J]. *华北农学报*, 2012, 27 (3):81-85.
- [6] 张文丽. 会理黑山羊肌肉生长抑制素基因编码序列的克隆与多样性分析[J]. *中国畜牧兽医*, 2013, 40 (12):146-150.
- [7] REISZ-PORSZASZ S, BHASIN S, ARTAZA J N, et al. Lower skeletal muscle mass in male transgenic mice with muscle-specific overexpression of myostatin [J]. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 2003, 285 (4):876-888.
- [8] HADJIPAVLOU G, MATIKA O, CLOP A, et al. Two single nucleotide polymorphisms in the *myostatin* (GDF8) gene have significant association with muscle depth of commercial Charollais sheep [J]. *Animal Genetics*, 2008, 39 (4):346-353.
- [9] MCPHERRON A C, LEE S J. Suppression of body fat accumulation in myostatin-deficient mice[J]. *The Journal of Clinical Investigation*, 2002, 109 (5):595-601.
- [10] KIJAS J W, MCCULLOCH R, EDWARDS J E, et al. Evidence for multiple alleles effecting muscling and fatness at the ovine GDF8 locus [J]. *BMC Genetics*, 2007, 8: 80.
- [11] 马国达,罗小暖,韩 冰. MiR-206 在骨骼肌发育中的功能[J]. *生命的化学*, 2012, 32 (4):353-358.
- [12] BELLINGE R H, LIBERLES D A, IASCHI S P, et al. Myostatin and its implications on animal breeding; a review[J]. *Animal Genetics*, 2005, 36 (1):1-6.
- [13] 陈 祥,廖正录,李国红,等. 贵州地方山羊品种的 RAPD 分析[J]. *动物学研究*, 2004, 25 (2):141-146.
- [14] 石照应,主 性,冯会利,等. 贵州黑山羊肌肉生长抑制素基因 cDNA 克隆及其蛋白抗原表位预测[J]. *贵州农业科学*, 2012, 40 (5):116-121.
- [15] 朱红刚,田兴贵,杨正梅,等. 贵州香羊 *MSTN* 基因的多态性[J]. *中国兽医学报*, 2011, 31 (9):1377-1381.
- [16] 朱红刚,田兴贵,杨正梅,等. 贵州小香羊 *MSTN* 基因内含子 2 和外显子 3 的多态性[J]. *贵州农业科学*, 2011, 39 (1):169-172.
- [17] 萨姆布鲁克 J,弗里奇 E F,曼尼阿蒂斯 T. 分子克隆实验指南 [M]. 2 版. 金科雁,黎孟枫,译. 北京:科学出版社,1992.
- [18] 尹 阔,任述强,徐国江,等. 南疆不同品种绵羊 *MSTN* 基因克隆及其组织表达谱分析[J]. *塔里木大学学报*, 2011, 23 (2):1-7.
- [19] JI S, LOSINSKI R L, CORNELIUS S G, et al. Myostatin expression in porcine tissues; tissue specificity and developmental and postnatal regulation [J]. *The American Journal of Physiology*, 1998, 275: 1265-1273.
- [20] 潘英树,张永宏,郭丽君,等. 朗德鹅肌生成抑制素基因组织分布研究[J]. *中国畜牧兽医*, 2008, 35 (5):45-47.
- [21] 胡 兰,王 娜,胡 锐,等. 大骨鸡 *MSTN* 基因的表达检测[J]. *中国家禽学报*, 2003, 7 (1):46-48.
- [22] 张 锐,孙美榕,张红莲,等. 猪各组织器官内肌生成抑制素基因 mRNA 表达谱的研究[J]. *中国兽药杂志*, 2004, 38 (3):16-18.
- [23] 梁婧娟,陈志成,郑玉才,等. 藏系绵羊 *MSTN* 基因在不同年龄不同组织的表达定量研究[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39 (17):10454-10457, 10493.
- [24] KUBOTA K, SATO F, ARAMAKI S, et al. Ubiquitous expression of myostatin in chicken embryonic tissues; its high expression in testis and ovary[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2007, 148 (3):550-555.
- [25] 唐大运,陈晓亮,吴健敏,等. 崂山奶山羊 *Myostatin* 基因真核表达载体的构建及其在成纤维细胞中的表达研究[J]. *中国畜牧兽医*, 2012, 39 (1):37-40.
- [26] JEANPLONG F, SHARMA M, SOMERS W G, et al. Genomic organization and neonatal expression of the bovine myostatin gene [J]. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 2001, 220 (1-2):31-37.
- [27] 胡 兰,郭东新,胡 锐,等. 大骨鸡中 *MSTN* 基因表达规律性的研究[J]. *动物科学与动物医学*, 2003, 20 (11):42-44.
- [28] 王 娜,胡 兰,刘 梅,等. 海兰鸡 *MSTN* 基因的表达检测[J]. *上海畜牧兽医通讯*, 2005 (2): 25-26.
- [29] LENK K, ERBS S, HÖLLRIEGEL R, et al. Exercise training leads to a reduction of elevated myostatin levels in patients with chronic heart failure[J]. *European Journal of Preventive Cardiology*, 2012, 19 (3):404-411.
- [30] DAS A K, YANG Q Y, FU X, et al. AMP-activated protein kinase stimulates myostatin expression in C2C12 cells[J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2012, 427 (1):36-40.
- [31] GRUSON D, GINION A, LAUSE P, et al. Urotensin II and urocortin trigger the expression of myostatin, a negative regulator of cardiac growth, in cardiomyocytes[J]. *Peptides*, 2012, 33 (2):351-353.
- [32] 龙定彪,张克英,陈代文,等. 品种和体重对猪肌肉生长抑制素表达的影响[J]. *动物营养学报*, 2008, 20 (2):123-127.
- [33] 杨晓静,陈 杰,胥清富,等. 二花脸猪和大白猪背最长肌中肌肉生长抑制素和生肌调节因子基因的表达及其性别特点[J]. *南京农业大学学报*, 2006, 29 (3):64-68.
- [34] 邝良德,谢晓红,雷 岷,等. 不同品种肉兔肌肉 *MSTN* 和 *MyoG* 基因表达水平及其与屠宰性状的关联分析[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2014 (3):160-162.

(责任编辑:张震林)